

# Lampowy wzmacniacz słuchawkowy



Większość z nas znajdzie w swoim zestawie audio wzmacniacz słuchawkowy. Może on być wbudowany we wzmacniacz lub odtwarzacz CD. W większości przypadków wzmacniacz ten ma niewielką moc i może zasilać słuchawki o niskiej impedancji 32Ω.

Wszystkim poszukiwaczom nowych wrażeń muzycznych, a także tym, do których dotarła legenda lamp, proponuję zbudowanie stosunkowo prostego i niedrogiego (jak na lampy) wzmacniacza słuchawkowego pracującego w klasie A. Będzie on miał parametry nie gorsze (a może lepsze?) od tego, który mamy wbudowany we wzmacniacz czy odtwarzacz CD i będzie miał dodatkową zaletę - będzie LAMPOWY.

Jak wiemy, lampy pracują z wysokimi napięciami, lecz prądy płynące przez nie są niewielkie, rzędu miliamperów, rzadko setek miliamperów. Ta właściwość lamp zmusza konstruktorów do stosowania dużych, ciężkich i drogich transformatorów wyjściowych, w sytuacji gdy lampy mająysterować niskomowe urządzenia, jak np. kolumnę głośnikową. Także słuchawki, szczególnie te 32-omowe, nie są łatwym obciążeniem dla wzmacniacza lampowego, szczególnie gdy ma być to wzmacniacz bez transformatorów wyjściowych.

Zbudowanie beztransformatorowego wzmacniacza słuchawkowego tzw. OTL (Output Transformer Less) jest możliwe, gdy zastosujemy wydajną lampę mocy w stopniu końcowym, a słuchawki będą miały niewielką moc. Warunek ten spełnia większość popularnych słuchawek 100mW/32Ω.

## Opis układu

Schemat ideowy jednego kanału wzmacniacza przedstawiony został na **rysunku 1**. Jak widać, jest dość prosty. W jednym kanale wzmacniacza pracują tylko dwie lampy: trioda i pentoda mocy. Trioda (L1), o dużym wzmacnieniu, pracuje jako wzmacniacz wstępny, natomiast pentoda jako stopień mocy. Trioda pracując w układzie ze wspólną katodą, daje duże wzmacnienie sygnału. Pentoda

moce (L2) z kolei pracuje w układzie wtórnika katodowego, dzięki czemu impedancja wyjścia jest stosunkowo niska – można więc zasilać niskomowe słuchawki. Wtórnik katodowy ma wzmacnienie napięciowe nieco mniejsze niż 1, tak więc całkowite wzmacnienie sygnału odbywa się tylko za pomocą jednej lampy - triody. Jeżeli wzmacniacz jest zasilany ze źródła o wysokim poziomie sygnału, jak np. odtwarzacz CD czy DVD, to wzmacnienie jest wystarczające.

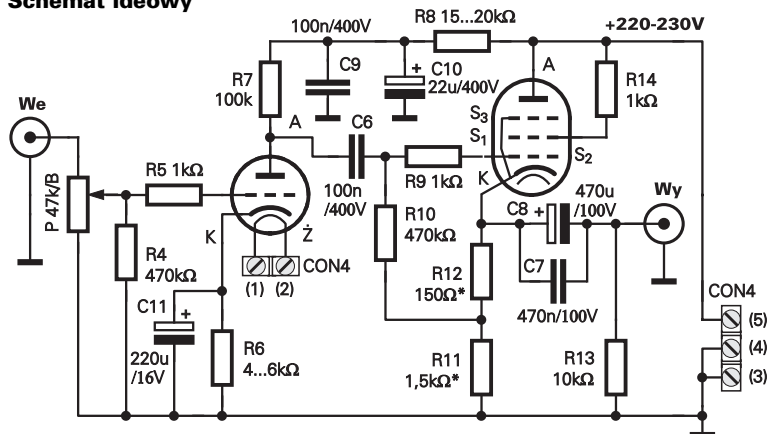
Sygnał z wejścia, poprzez potencjometr P i rezystor R5, steruje siatką triody (L1). Siatka jest spolaryzowana ujemnie względem katody, dzięki spadkowi napięcia na rezystorze katodowym R6 (polaryzacja automatyczna).

Rezystor katodowy R6 (R6A w drugim kanale) może być z bocznikowany kondensatorem elektrolitycznym 220μF/16V. Kondensator ten zwiera do masy sygnał zmienny (audio) i wzmacnienie stopnia rośnie. Wzmacniacz gra głośniej, odnosimy wrażenie, że jest bardziej dynamiczny. Ale z kolei łatwiej taki wzmacniacz przesterować i słyszalny jest przyszybkowany oraz inne zakłócenia.

Jeżeli nie zamontujemy kondensatora, powstanie lokalne sprzężenie zwrotne (dla sygnałów zmiennych), dzięki czemu poprawie ulegnie liniowość wzmacniacza, a zmniejszą się zniekształcenia nieliniowe. Odbywa się to jednak kosztem wzmacnienia. Wybór, czy zastosować kondensator, czy nie, należy do Was.

Wzmocniony na triodzie sygnał przez kondensator C6 podawany jest na siatkę pierwszą (S1) pentody. Siatka ta spolaryzowana jest napięciem, którego wartość zależy od wartości rezystora R12 oraz płynącego przez niego prądu. Rezystor ten jest doбираny doświadczalnie tak, by uzyskać wymagany prąd katodowy (25-30mA). Zmieniając jego wartość, zmieniamy prąd anodowy płynący przez lampę. Im niższa wartość R12, tym większy prąd – do pewnej granicy, oczywiście. Wzmocniony na triodzie sygnał podany na siatkę S1 pentody moduluje prąd anodowy lampy wyjściowej. Sygnał z katody lampy L2 przez kondensatory C7, C8 podawany jest na wyjście słuchawkowe. Rezystor R14 ustala polaryzację siatki drugiej (S2). Występujący na nim spadek napięcia powoduje, że druga siatka ma nieco niższe napięcie niż anoda, co jest niezbędnym warunkiem prawidłowej

Rys. 1 Schemat ideowy



pracy pentody. Rezystor R8 wraz z kondensatorami C9, C10 tworzą filtr odsprężający zasilanie lampy L1.

Drugi kanał jest identyczny.

We wzmacniaczu zastosowałem lampę ECL 86. Jest to dość popularna i łatwo dostępna lampa, dawniej często stosowana w urządzeniach audio. Łatwiej jest jednak zdobyć jej telewizyjny odpowiednik – PCL86, o parametrach zbliżonych do ECL, lecz wyższym napięciu żarzenia – 13 V. Lampa ECL (PCL) 86 jest podwójną lampą, w szklanej bańce znajduje się trioda i pentoda mocy. Upraszcza nam to konstrukcję wzmacniacza, bowiem do budowy wystarczą dwie lampy – po jednej na kanał. Lampa posiada 9 wyprowadzeń, należy użyć podstawek typu „noval”. Na **rysunku 2** widzimy schemat wprowadzeń, widziane od dołu lampy.

Podstawowe parametry lampy PCL86:

*Część triodowa:*

Napięcie zasilania  $V_a$  – 230 V,

Napięcie siatki  $V_g$  – (-)1,7 V,

Prąd anodowy  $I_a$  – 1,2 mA,

Wzmocnienie ( $\mu$ ) – 100,

*Część pentodowa:*

Napięcie zasilania  $V_a$  – 230 V,

Napięcie siatki drugiej  $V_{g_2}$  – 230 V,

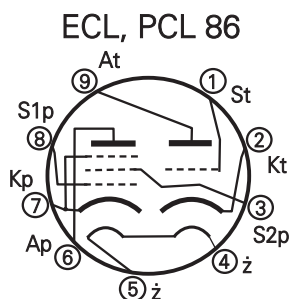
Napięcie siatki pierwszej  $V_{g_1}$  – (-) 5,7 V,

Prąd anodowy  $I_a$  – 39 mA.

Prąd siatki drugiej  $I_{g_2}$  – 6,5 mA,

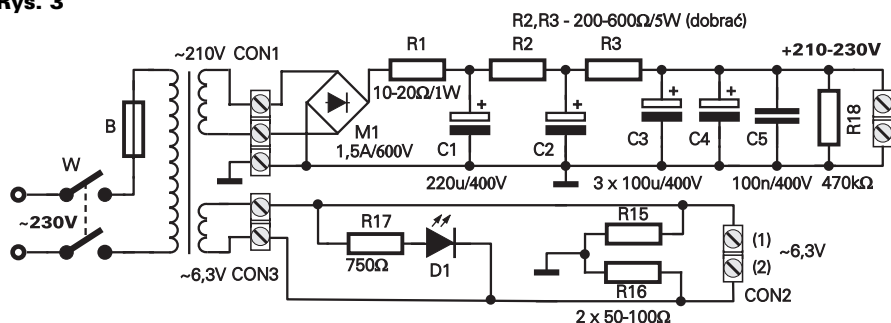
W przypadku lampy ECL 86 napięcie zasilania może być nieco wyższe – 250 V.

Więcej danych na temat (nie tylko tej) lampy można znaleźć na stronie internetowej: [www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/index.html](http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/index.html)



Rys. 2

Rys. 3



### Zasilacz

Pokazany na **rysunku 3** zasilacz także nie jest skomplikowany. Napięcie zmienne (210-220V) z transformatora po wyprostowaniu podnosi się do ok. 300V. Napięcie to filtrowane jest filtrem RC składającym się z rezystorów R1-R3 i kondensatorów C1-C5. Na rezystorach R1, R2 i R3 występuje spadek napięcia i tracona jest spora moc. Szczególnie rezystory R2 i R3 są mocno obciążone, dlatego ich moc powinna wynosić przynajmniej 5W. Wartość tych rezystorów dobieramy eksperymentalnie tak, aby na wyjściu zasilacza po rozgrzaniu się lamp było napięcie 210–230 V (prądu stałego). Lampy ECL mogą być zasilane napięciem nieco wyższym – 250 V.

Rezystor R18 rozładowuje kondensatory wysokonapięciowe po wyłączeniu wzmacniacza.

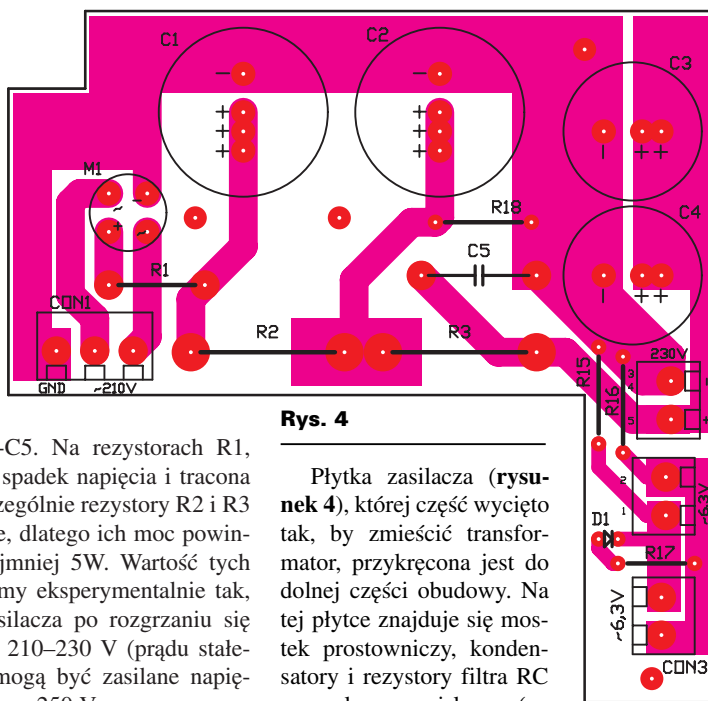
Lampy ECL86 żarzone są prądem zmiennym o napięciu 6,3V ( $\pm 5\%$ ). Gdy stosujemy telewizyjne lampy PCL86, napięcie powinno być wyższe, około 13V. Około, bowiem ważniejszy jest prąd żarzenia, który powinien wynosić 300mA ( $\pm 5\%$ ). Tak więc transformator zamawiamy lub nawijamy na nieco wyższe napięcie niż 13 V, a korekty prądu żarzenia dokonujemy za pomocą rezystora włączonowego szeregowo w obwód (niepokazany na schemacie).

Rezystory R15 i R16 symetryzują napięcie żarzenia, przez co przydźwięk sieciowy przedostający się przez układ żarzenia jest mniejszy. Dla napięcia 6,3V mogą mieć wartość 50-100Ω, dla 13V – dwukrotnie wyższą.

Dioda elektroluminescencyjna D sygnalizuje pracę wzmacniacza.

### Montaż i uruchomienie

Całość wzmacniacza zamknięta jest w typowej obudowie z tworzywa sztucznego o wymiarach 15x17x9 cm (Z2A). W narożu obudowy znajduje się toroidalny transformator.



Rys. 4

Płytkę zasilacza (**rysunek 4**), której część wycięto

tak, by zmieścić transformator, przykręcona jest do dolnej części obudowy. Na tej płytce znajduje się mostek prostowniczy, kondensatory i rezystory filtra RC oraz złącza zaciskowe (na schemacie oznaczone jako CON). Rezystory filtra R2 i R3, przez które przepływa prąd 50-70mA, rozgrzewają się mocno, dlatego są nieco oddalone od kondensatorów filtrujących i przylutowane do płytki na dłuższych „nóżkach” wykonanych z odcinków grubszego, miedzianego drutu (4-5cm).

Dla wygody montażu, napięcie żarzenia z transformatora poprowadzone jest do złącza CON3 i wyprowadzone do płytki z lampami przez zaciski 1 i 2 złącza CON2. Ponieważ lampy ECL86 pobierają blisko 1,4A prądu żarzenia, ścieżki pomiędzy tymi złączami można wzmocnić, przylutowując odcinki drutu. Z tego miejsca pobierane jest napięcie do zasilania diody elektroluminescencyjnej sygnalizującej pracę wzmacniacza. W przypadku napięcia żarzenia 13 V wartość rezystora R17 powinna być dwukrotnie wyższa.

Płytkę z lampami przykręcona jest do górnej części obudowy. W górnej części obudowy wycięte są, za pomocą wiertła piórowego do drewna, otwory o średnicy 25 mm, dzięki czemu lampy mogą być wyeksponowane na zewnątrz obudowy.

Na płytce drukowanej wzmacniacza (**rysunek 5**) oprócz elementów elektronicznych przylutowane są podstawki do lamp typu „noval”, które powinny być przystosowane do druku. Można je kupić – tak jak lampy – na giełdzie elektronicznej, a także aukcjach internetowych. Ja wymontowałem je ze starego telewizora lampowego.

Ponieważ odstęp pomiędzy płytką a górną powierzchnią obudowy jest niewielki, należy zastosować tulejki dystansowe. Kondensatory elektrolityczne C8 i C8A ze względu na duże rozmiary przylutowane są do płytki od strony druku. Można je dodatkowo przykleić. Od strony druku przylutowany jest także potencjometr



by prądy płynące przez katody pentod były zbliżone, a ich wartość powinna wynosić, jak już wspomniałem wcześniej, 25–30mA w każdej pentodzie.

## Praca wzmacniacza

Po włączeniu wzmacniacz powinien przez kilka minut się rozgrzewać, by prądy płynące przez lampy ustabilizowały się. Obserwujemy rezystory mocy, czy zbytnio się nie rozgrzewają. Musimy jednak pamiętać, że rezystory redukcyjne R2 i R3 w zasilaczu, a także R11 i R11A na płycie z lampami będą się rozgrzewały do wysokiej temperatury i jest to normalne. Jeżeli jednak w powietrzu unosi się zapach spalonego lakieru i widzimy, że lakier na którymś rezystorze zmienia barwę, to rezystor ma zbyt małą moc. W takim przypadku należy go wymienić na taki sam pod względem wartości, lecz większej mocy.

Po dłuższym okresie pracy sprawdzamy jeszcze raz napięcia zasilania i spadki napięć na rezystorach katodowych lamp. Dokonujemy ewentualnych korekt prądu anodowego lamp L2 (L2A).

## Uziemienie

Wzmacniacz powinien być zasilany za pomocą przewodu trzyżyłowego z dobrym uziemieniem. Sieciowe gniazdo, z którego będziemy zasilali wzmacniacz, powinno mieć bolec uziemiający (prawidłowo uziemiony, a nie atrapę). Trzecią żyłę przewodu zasilającego, w charakterystycznej, żółtozielonej izolacji dołączamy do masy zasilacza. Na płycie zasilacza znajduje się zacisk na złączu CON1, połączony z masą wzmacniacza, przystosowany właśnie do dołączenia przewodu uziemiającego (zobacz schemat zasilacza i rysunek płytki). Można wmontować do obudowy trzybolcowe gniazdo komputerowe i stosować odpowiedni kabel zasilający.

Dlaczego takie komplikacje? Otóż na masie wzmacniacza pojawia się ZMIENNE napięcie o wysokiej wartości, mierzone względem **uziemienia** (potencjał gruntu). Napięcie to powstaje w wyniku szkodliwych pojemności między uzwojeniami a nawet rdzeniem transformatora. By się o tym przekonać, wystarczy dotknąć próbnikiem neonowym (tzw. „próbówka”) rdzenia lub dowolnego wyjścia wtórnego (nawet niskonapięciowego) transformatora włączonego do sieci. Napięcie to powoduje wzbudzenie się wzmacniacza i zakłócenia podobne do brumu sieciowego. Najprostszym sposobem likwidacji tego zjawiska jest dobre uziemienie masy wzmacniacza i (jeśli to możliwe) rdzenia transformatora.

## Bezpieczeństwo

Zgodnie z normami Unii Europejskiej (Dyrektywy Nowego Podejścia) każde urządzenie zasilane napięciem zmiennym powyżej 50V i napięciem stałym powyżej 75V powinno podlegać specjalnym procedurom

podczas produkcji i uzyskać certyfikat bezpieczeństwa CE. Budując urządzenie na własny użytek, oczywiście nie musimy starać się o uzyskanie znaku CE, ale pewne procedury które zapewnią bezpieczeństwo, tak podczas budowy urządzenia, jak i jego użytkowania powinniśmy, zachować.

Największe zagrożenie niesie obwód zasilania prądem sieciowym. Dlatego przewody zasilające, transformator, gniazda, wyłączniki itp. powinny być dobrej jakości, dostosowane do pracy przy napięciu 230 V (dobrze, gdy posiadają znak CE). Miejsca połączeń powinny być dokładnie izolowane. Najlepiej jeśli zasilanie sieciowe tworzy oddzielny, odpowiednio izolowany obwód, oddalony od pozostałych elementów układu.

Montaż i wszelkie przeróbki wykonujemy ZAWSZE po wyjęciu wtyczki z gniazdka sieciowego.

Mniej groźne jest wysokie nawet napięcie, lecz odseparowane od sieci za pomocą transformatora. Dotknięcie ręką płytki wzmacniacza lampowego, na której jest np. 250 V prądu stałego, nie powinno nieść niebezpiecznych skutków dopóty, dopóki nie zamkniemy obwodu drugą ręką lub pod palcem nie znajdą się dwie ścieżki o różnych napięciach.

Przed uruchomieniem urządzenia należy sprawdzić prawidłowość lutowania kondensatorów elektrolitycznych (plus do plusa, minus do minusa). Odwrotne wlutowanie kończy się najczęściej wybuchem kondensatora.

Urządzeń nieprzetestowanych nie należy pozostawiać włączonych bez opieki na dłuższy czas.

Metalowa obudowa urządzenia powinna być uziemiona.

### Przypominam jeszcze raz:

**Bądź ostrożny! Zawsze pracuj uważnie i z wyobraźnią. We wzmacniaczu występują wysokie napięcia. Wszelkich regulacji dokonuj przy wyłączonym zasilaniu i po rozładowaniu kondensatorów wysokonapięciowych. Lampy i niektóre rezystory rozgrzewają się do wysokiej temperatury. Łatwo o poparzenie.**

## Odsłuch

Podczas testów z użyciem kilku typów popularnych, tańszych słuchawek stwierdziłem, że wzmacniacz ma minimalny przydźwięk sieciowy, a szумы są praktycznie niesłyszalne. Dźwięk jest otwarty, wokal czysty, basu w zasadzie nie brakuje. Słychać zaskakująco dużo szczegółów. Jakość dźwięku zależała od jakości użytych słuchawek i podczas odsłuchów słychać to było wyraźnie. Co najciekawsze, nie zawsze droższe słuchawki grały lepiej.

Ponieważ słuchawki są znacznym obciążeniem dla lampy wyjściowej, nie stosujemy słuchawek o mocy większej niż 100mW. Natomiast wyższa impedancja słuchawek jest wskazana.

Stanisław Chrzyszcz

## Wykaz elementów

### Rezystory

R1	.....10-20Ω/1W
R2,R3	.....200-600Ω/5W (dobrac)
R4,R4A	.....470kΩ/0,25 W
R5,R5A,R9,R9A	.....1kΩ/0,25W
R6,R6A	.....4-6kΩ/0,25W
R7,R7A	.....100kΩ/0,25W
R8,R8A	.....15-20kΩ/0,25W
R10,R10A	.....470kΩ/0,25W
R11,R11A	.....1,2-1,8kΩ/3W (dobrac)
R12,R12A	.....120-180Ω/1W (dobrac)
R13,R13A	.....8-10kΩ/1W
R14,R14A	.....1kΩ/0,5W
R15,R16	.....50-100Ω/0,25W
R17	.....ok. 750Ω/0,25W (dobrac)
R18	.....250kΩ/0,25W
P	.....potencjometr 47kΩ/B

### Kondensatory

C1	.....220μF/400V
C2-C4	.....100μF/400V
C5	.....100nF/400V
C6,C6A	.....100nF/400V
C7,C7A	.....470nF/100V
C8,C8A	.....470μF/100V
C9,C9A	.....100nF/400V
C10,C10A	.....22μF/400V
C11,C11A	.....220μF/16V (opcjonalnie)

### Pozostałe

D1	- dioda elektroluminescencyjna
Lampy ECL 86	lub PCL 86 – 2 szt.
Podstawki do lamp Noval	, do druku – 2 szt.
Transformator	- min. 40W 6,3V/2,5A dla ECL86 lub 13,5V/1,5A dla PCL86 210-220 V/0,1A
Wyłącznik sieciowy	, podwójny
Oprawa bezpiecznika	
Bezpiecznik miniaturowy	0,5A
Obudowa	- typu Z2A lub podobna
Gniazdo duży jack	
Złącza CON	- zaciskowe, na wkręty - podwójne - 4 szt.
Złącza CON	- zaciskowe, na wkręty - potrójne - 2 szt.
Mostek prostowniczy	1,5 A/600 V
Kabel sieciowy (zasilający)	- zalecany trzyżyłowy, z odpowiednią wtyczką.

Płytki drukowane są dostępne w sieci handlowej AVT jako kit szkolny AVT-2744.